



東邦大学

2025 年度

東邦大学理学部物理学科

卒業論文予稿集

卒業論文発表会

2026 年 2 月 12 日（木）・13 日（金）

---

## 大気科学・星間化学教室

### 1 星間空間におけるアミノアセトニトリルの探査を目的としたミリ波分光

松下 和希

アミノ酸は生命の主要構成物であるタンパク質の源である。その中でも最も単純な構造をしているグリシンは星間空間において存在する可能性が高いと考えられているが、未だに検出されていない。しかし、グリシンの前駆体であるアミノアセトニトリルについては検出されており、グリシン発見の手掛かりになるとされている。

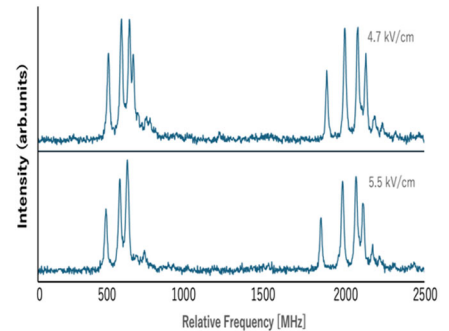
本研究では星間空間での検出を目的としたアミノアセトニトリルの振動基底状態、及び振動励起状態の解明を目指し、本学設置の高分解能分光計を用いて回転スペクトルの同定を行った。90-187GHz 帯におけるサーベイ測定の結果を基に、振動基底状態と 29 の振動励起状態の回転定数について、4 次の遠心力歪み定数まで決定した。

## 量子エレクトロニクス教室

1 Ba 原子  $6s5d^1D_2 - 5d6p^1D_2$  遷移の磁場におけるシュタルク分岐の測定

小幡 恒貴

本実験では、原子のパリティ非保存 (PNC) 研究に向けて、Ba 原子の許容遷移  $6s5d^1D_2 - 5d6p^1D_2$  (波長 856.0 nm) に対して高分解能分光実験を行った。強さ 489.3 G の磁場を印加した状態で、さらに 1.3 kV/cm、1.8kV/cm、2.6 kV/cm、3.1 kV/cm、3.9 kV/cm、4.7 kV/cm、5.5 kV/cm の電場を加え、磁場中におけるシュタルク・ゼーマンスペクトルを測定した。各電場条件下で得られたスペクトルを解析することで電場によるシュタルク分岐  $\Delta$  を導出した。

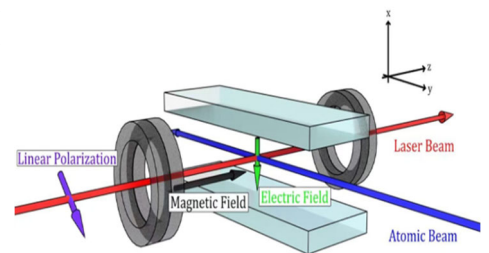


電場を印加したゼーマンスペクトル

2 Ba 原子  $6s5d^1D_2 - 5d^2^1D_2$  禁止遷移におけるゼーマン効果の測定

林 凱悦

本研究では、パリティ非保存 (PNC) 研究の予備実験として Ba 原子の  $6s5d^1D_2 - 5d^2^1D_2$  電気双極子禁止遷移のゼーマン効果を高分解能レーザー分光法により測定した。シュタルク効果による mixing を用い、電場及び磁場を同時に制御することで、禁止遷移におけるゼーマンスペクトルを観測した。得られたスペクトルに対して、許容遷移  $6s5d^1D_2 - 5d^2^1D_2$  から得られたシュタルク分岐エネルギーを用いて、電場による影響を考慮したゼーマン分岐の定量的解析を行った。その結果、Ba 原子  $5d^2^1D_2$  準位の g 因子を測定することに成功した。

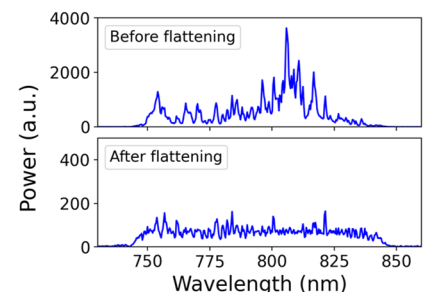


## 3 天文コムのパフォーマンス向上のための広帯域スペクトル平坦化

島崎 龍之介

恒星の周囲を公転する惑星を探索し、宇宙の構造や成り立ちを明らかにする手法として、ドップラー法が挙げられる。近年、ドップラー法における波長測定精度をさらに向上させるため、基準光源として光周波数コムを用いた「天文コム」の開発が進められている。しかし、天文コムは波長ごとにスペクトル強度が不均一であり、実用化に向けた課題の一つとなっている。

本研究では、天文コムに見立てた広帯域な光周波数コムを対象とし、空間光変調器 (SLM) を用いた強度制御によってスペクトルの平坦化を実現し、その原理実証を行った。その結果、対象波長範囲におけるスペクトル強度の標準偏差を評価したところ、制御前は 560.3 であった標準偏差に対し、制御後には 19.2 へと低減することを確認した。



図：制御前の光スペクトルと制御後の光スペクトル

#### 4 Er 添加光ファイバ増幅器を用いたシミュラリトン増幅の検証

小林 来輝

中赤外光の発生には高効率な波長変換が不可欠であり、その実現には高いピークパワーと良好な時間・スペクトル特性を両立した超短パルス光源が求められる。一般に、ファイバ増幅器において高パワー化を図る際には、自己位相変調や分散によるパルス劣化が問題となる。そこで、スペクトルと時間波形が自己相似的に進化する増幅過程であるシミュラリトン増幅を用いることで、パルスの歪みを抑えつつ高エネルギー化を図り、後段でのパルス圧縮と組み合わせることで高ピークパワーな超短パルスの生成を目指した。本研究では、シミュラリトン増幅を目標とした Er 添加光ファイバ増幅器の構築と、グレーティングペアを用いたパルス圧縮を行った。その結果、出力平均パワー316 mW を達成し、パルス幅を 152 fs(Gaussian 近似)まで圧縮できることを確認した。

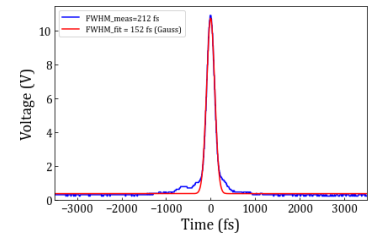


図:最短パルス時の自己相関波形

#### 5 ラマンソリトン周波数コムを用いたデュアルコム分光

田中 泰地

本研究では、地球環境や惑星大気の実験において重要な分子であるメタン ( $\text{CH}_4$ ) の吸収計測に着目し、1550 nm 帯の光周波数コムを自己周波数シフト (SSFS) により長波長側へ波長変換することで、デュアルコム分光による  $\text{CH}_4$  吸収計測が可能であることを検証した。波長変換後に得られた 2 つの光コムからインターフェログラムを取得し、FFT 処理によって吸収スペクトルを復元した。さらに、ベースライン補正とランベルト・ベール則を適用することで吸収スペクトルを導出し、HITRAN データベースに基づく  $\text{CH}_4$  吸収スペクトルとの比較を行った。その結果、取得した吸収線の位置と中心波長が HITRAN データと良好に一致することを確認し、本手法による  $\text{CH}_4$  分光の有効性を実証した。

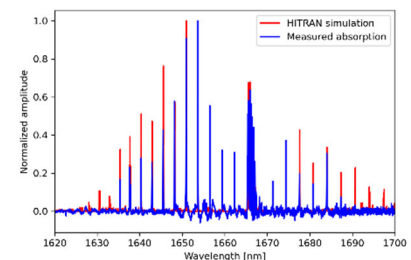


図: HITRAN と比較した  $\text{CH}_4$  吸収スペクトル

#### 6 デュアルコムファイバレーザを用いたデュアルコム分光におけるデジタル補正技術の比較検討

斧田 将吾

本研究では、フリーランニング動作のデュアルコムファイバレーザを用いたデュアルコム分光において、デジタル補正技術の比較検討を行った。デュアルコム分光は、広帯域かつ高分解能な分光測定が可能である一方、2 台の光周波数コムを高精度に位相同期する必要がある。本研究室で開発された双方向動作型デュアルコムファイバレーザは、複雑な位相同期系を必要とせずデュアルコム分光を実現できるが、フリーランニング動作に起因する相対的な揺らぎにより、信号の長時間積算が困難となる課題を有している。本実験では、測定帯域幅および繰り返し周波数差を変化させた条件下で、時間領域および周波数領域におけるデジタル補正手法を適用した。その結果、補正手法の違いが積算特性および信号対雑音比に与える影響が明らかとなり、測定条件に応じた適切な補正手法を選択することの有効性が示された。

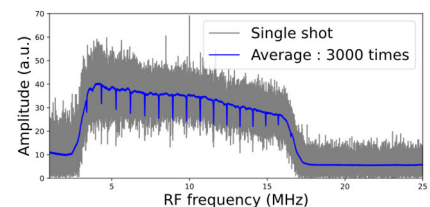


図:  $\Delta f_{\text{rep}}=465$  Hz、10 nm 帯域測定での周波数領域補正における積算スペクトル

## 7 単一周波数レーザーおよびファイバ干渉計を用いた光-音変換装置の開発

橋本 真緒

高精度な距離計測が可能な周波数変調連続波 (FMCW) LiDAR の原理を応用し、光干渉によって生成されるビート信号を音声として出力する光-音変換装置の開発を目的として、ヘテロダイン干渉計を用いた実験系を構築した。光源には単一周波数半導体レーザーを用い、ファンクションジェネレータによる電流変調によって周波数掃引を行った。参照光と信号光の干渉によって生じるビート信号を検出し、オシロスコープおよびスピーカーを用いて評価を行った。その結果、光路差、すなわち距離に対応したビート信号を取得し、FMCW 方式に基づく距離情報の音変換が可能であることを実証した。

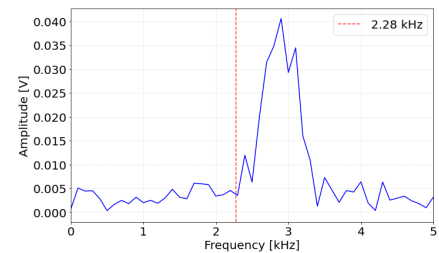


図: オシロスコープで取得した時間波形の FFT 解析結果

## 8 周波数ロックによる周波数安定化の検証

上野 雄大

同軸ケーブルによる遅延線を用いたレーザーの周波数安定化手法は、位相同期方式と比較して高い堅牢性を有するという特徴がある。本研究では、本手法を周波数ロック手法として位置づけ、光周波数コムおよび CW レーザーの制御に適用可能であるかを検証した。その結果、非線形偏波回転を用いた繰り返し周波数 53.3 MHz のモード同期 Er ファイバレーザーと狭線幅 CW レーザーを用いた構成において、遅延線長 10 m および 15 m の条件下で安定な周波数ロックに成功した。さらに、DFB レーザーを用いた場合においても、遅延線長 10 m における周波数ロックが可能であることを実証した。

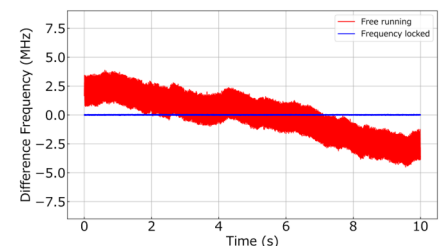


図: ビート信号周波数の時間変動

## 9 ファイバ干渉計を用いた DFB レーザーの線幅狭窄化と FPGA 位相計による位相雑音特性評価

井川 知哉

狭線幅レーザーは、光通信やコヒーレントセンシングなどに必要不可欠な光源である。狭線幅レーザーを実現する手法の一つに、ファイバ干渉計を用いたフィードバック制御がある。この手法は光学的なアライメントを必要としないため、堅牢性に優れている。しかし、従来の研究では位相計のダイナミックレンジ不足により、位相雑音特性の評価は十分に行われていない。

本研究では、波長 1550 nm の DFB レーザーの線幅狭窄化および位相雑音特性の評価を目的として、マイケルソン型ファイバ干渉計を用いた光周波数フィードバック制御を行い、広いダイナミックレンジを有する FPGA 位相計による位相雑音評価を実施した。その結果、制御により位相雑音が低減することを確認した。

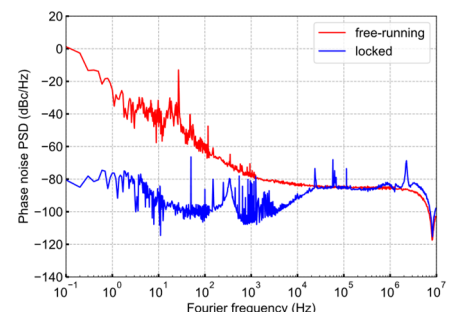


図: フリーラン時と制御時の位相雑音 PSD

## 原子過程科学教室

### 1 再帰蛍光精密分光実験に向けた分光器結合用光ファイバーの導入

徳永 優美

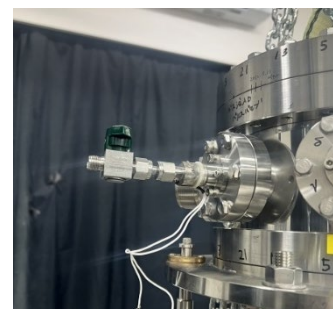
東邦大学原子過程科学教室では、炭素鎖分子正・負イオンから放出される再帰蛍光の観測実験を進めている。これまでの測定では、光電子増倍管と波長幅数十 nm 程度のバンドパスフィルタを組み合わせ、特定の波長領域の再帰蛍光を選択し、まとめて単一光子計数法により検出していた。このため、波長分解能はバンドパスフィルタの波長幅に制限され、蛍光スペクトルはだまかにしか得られていない。そこで、光電子増倍管の代わりに単一光子計数可能な分光器付 CCD カメラを用いることで、連続的な波長の記録を高分解能で取得することを目指している。本研究では、分光器と集光光学系を接続するバンドル光ファイバーを導入し、観測される光量など光ファイバーを組み込んだ光検出システムの性能評価を行った。



### 2 冷却イオントラップへのバッファガス導入時のトラップ内圧力挙動評価

瀧井 楓子

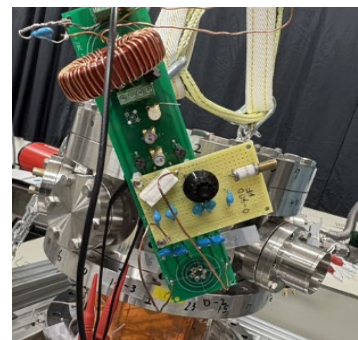
真空中における分子反応過程の理解は、分子反応ダイナミクスのみならず星間分子の生成・進化過程の解明など他の研究分野においても重要である。東邦大学では、極低温分子生成を目的とした冷却イオントラップ装置の開発を進めている。本研究では、同装置にバッファガスとしてヘリウムガスを 1-5 sccm の範囲で導入し、装置内圧力の挙動を定量的に評価した。測定結果を装置内コンダクタンスおよびターボ分子ポンプの排気速度と比較した結果、冷却イオントラップとして十分な圧力のヘリウムガスを装置内に導入可能であることを確認した。



### 3 冷却用線形イオントラップ電極へのトラップ用高周波高電圧印加

酒井 蓮武

近年、孤立環境下における分子の冷却過程として、再帰蛍光と呼ばれる新たな冷却過程の存在が確認されている。再帰蛍光は、振動励起状態にある分子が電子励起状態へ逆内部転換した後に蛍光を放出する過程であり、振動輻射に比べて速く分子を冷却するため、星間空間における分子の生成・進化過程に重要な影響を与える可能性がある。本研究では、再帰蛍光の精密観測を目的として開発が進められている冷却用イオントラップに対し、トラップ用の高周波高電圧を印加し、トラップ用電極に実際に印加される電圧の大きさ、ならびにトラップ中の浮遊静電容量を考慮に入れた共振条件について評価した。



#### 4 イオン付着飛行時間質量分析装置のイオン引き込み電場の強度化

氏名 土屋 大将

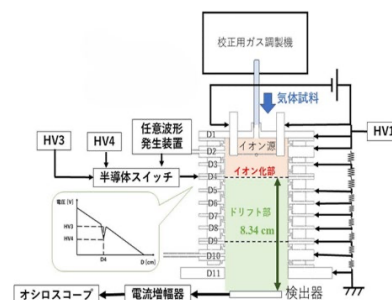
本研究室では、未知成分を含む呼気などの気相試料分析を目的とした質量分析装置の開発がなされてきた。それは、イオン化方法にイオン付着法を採用した飛行時間型質量分析装置であり、対象物質を壊すことなくそれらの分子イオンを検出することができる。これまで、直交型への改造、簡易イオンカーペットの導入により、本装置の欠点であった測定効率と分解能の低さという課題を克服することに努力してきた。本研究では、さらなる測定能力向上を目的として、イオンの引き込みパルス電場の強度化を行った。しかし、各質量ピークの半値幅の減少は見られなかった。



#### 5 イオン付着型イオン移動度分析装置の基礎特性

氏名 小野澤 祐哉

工場などで使われる化学物質には、取り扱いによって労働災害を引き起こしてしまうものがある。そのため我々の研究室では、昨年度より労働安全衛生総合研究所と共同で、作業環境中の化学物質を対象として多成分同時分析できるイオン移動度分析装置の開発を行っている。本装置では、イオン化法を従来のコロナ放電法からイオン付着法に変更して実験を行っている。本研究では、大気圧下でのイオン付着法の有効性を示すために、質量分析計を用いて付着イオン生成の確認を行ったほか、化学物質の濃度に依存してイオン移動度スペクトル上のピーク位置がシフトしていくことを確認できた。

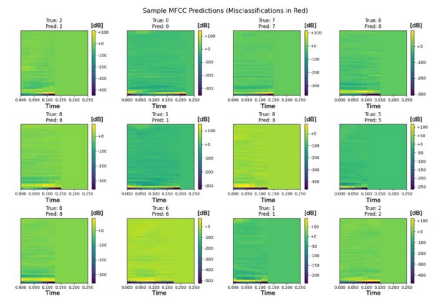


## 物性理論教室

### 1 深層学習を用いた音声識別に関する研究

亀山 美菜子

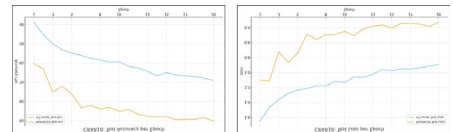
本研究では、機械学習の一種である深層学習を用いて、画像認識および音声識別を行った。深層学習の手法として、多層パーセプトロンを用いたニューラルネットワークを構築し、誤差逆伝搬法によりネットワークの学習を行った。まず、手書き数字の画像識別を行い、適切なノード数、学習方法を選ぶことで高い正答率を得た。次に、このネットワークを用いて音声識別をするため、音声信号を短時間フーリエ変換により時間周波数表現へと変換したメルスペクトログラムと呼ばれる画像データを作成した。このデータを用いることでニューラルネットワークによる音声識別が可能であることを示した。



### 2 Vision Transformer と畳み込みニューラルネットワークの構造的比較と画像分類性能の検証

大里 一颯

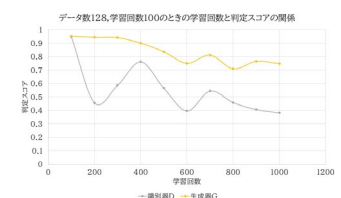
本研究では、画像分類に用いられる畳み込みニューラルネットワーク (CNN) と Vision Transformer (ViT) について、両者の構造的な違いに着目した比較を行った。特に、局所的な特徴抽出を前提とする CNN と、Self-Attention 機構によって画像全体の関係性を学習する ViT の設計思想の違いが、学習挙動や性能にどのように影響するかを明らかにした。



### 3 敵対的生成ネットワークを用いたデータ生成

鈴木 詩織

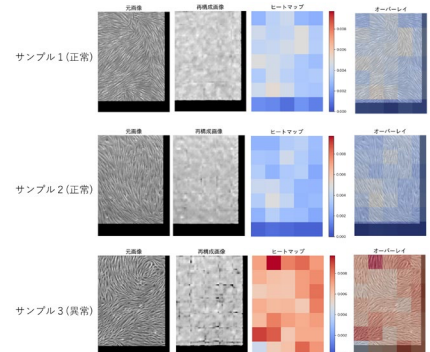
本研究では、敵対的生成ネットワーク (Generative Adversarial Networks : GAN) と呼ばれる機械学習の動作原理を理解し、教師データの特徴を持った新しいデータ生成を行った。GAN は生成器と識別器の二つのネットワークの相互作用 (敵対関係) によってデータを生成する。本研究では音符をデータに変換し、教師データ (曲) の特徴を持った新しい曲の作成を行った。教師データ数が少ない場合は、識別器の過学習により生成器の学習がうまく行えなかった。データ数を増やすことでお互いのネットワークが敵対関係を維持し、学習が安定することが明らかになった。



#### 4 オートエンコーダを用いた観測データに対する異常検知

小野寺 茜

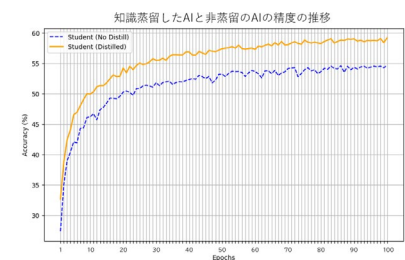
本研究では、オートエンコーダと呼ばれる機械学習の手法を用いて、様々な観測データに含まれる異常データの検知を行った。具体的には、細胞の画像データおよびインピーダンスの時系列データに対する異常検知を行った。画像に対する異常検知では、データセットに含まれる少数の異常細胞画像の検知に成功した。異常箇所の特定をするために、画像を分割して局所的な特徴を鋭敏に捉えるオートエンコーダを構築した。これを用い、分割サイズが判定精度や再現性に与える影響を検証した。インピーダンスに対する異常検知では、異常な実部・虚部依存性を持った時系列データの検知が可能であることを示した。



#### 5 深層学習の知識蒸留に関する研究

高田 光

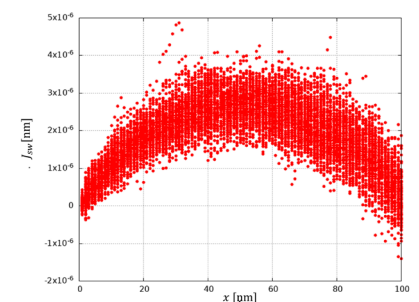
本研究では、機械学習に用いられる多層パーセプトロンのサイズを、知識蒸留と呼ばれる手法を用いて削減し、より小さなネットワークで高い精度の画像識別ができるかを検証した。画像識別タスクを行った大規模ネットワークの出力をソフトターゲットとし、より小さなネットワークでこのソフトターゲットを再現した。学習に用いるネットワーク構造やパラメータがこの知識蒸留による識別精度低下に与える影響を調べた。



#### 6 磁化ダイナミクスから誘起されるスピン起電力に対する数値的研究

中野 由揮

本研究は、磁気相互作用の競合が生み出す磁化構造のダイナミクスと、それに由来するスピン起電力に関する数値解析的研究である。Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 方程式を用いた数値シミュレーションにより、以下の2点について解析を行った。第一に、Dzyaloshinskii-Moriya (DM) 相互作用に起因するスカーミオン構造の緩和過程である。種々の相互作用の競合によりスカーミオンが安定化する過程で、有意なスピン起電力を生成することを明らかにした。第二に、温度勾配下の強磁性体におけるスピン起電力である。熱揺らぎを取り入れたモデルを用いて、温度勾配が磁化ダイナミクスに与える影響と、結果として生じる起電力を評価した。特に、断熱項および非断熱項の寄与の差異を明確化し、得られる起電力の定量的評価を行った。

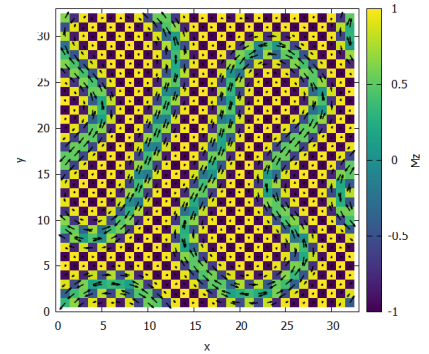


温度効果が  $0\text{K} \rightarrow 1\text{K}$  での  
スピン起電力  $J_{sw}$  の結果

## 7 反強磁性スキルミオン磁化構造中のトポジカル量に関する数値計算

長澤 優輝

磁性体中のねじれた磁化構造である反強磁性スキルミオン中のトポジカル量について数値的研究を行った。緩和項を含んだ磁化ダイナミクスを計算することで、エネルギー的に安定な構造を形成し、反強磁性相互作用と Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用による反強磁性スキルミオン構造を得ることができた。この磁化構造を A サイト・B サイトの副格子に分割することで、磁化構造がトポジカルチャージと呼ばれる量で特徴付けられることがわかった。このトポジカルチャージは A サイトと、B サイトで異符号になり、量子化されていることがわかった。

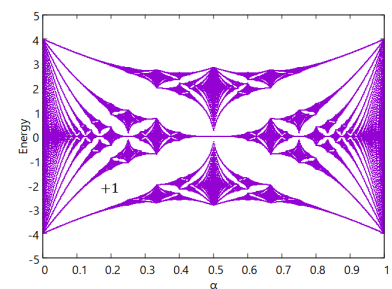


反強磁性スキルミオンの磁化構造

## 8 強束縛格子模型におけるチャーン数の数値計算

小林 奈緒

本研究では、強磁場下の 2 次元強束縛格子模型において、量子ホール効果に関連したトポジカル量であるチャーン数を数値的に求めた。厳密対角化の手法を用いて有限系のエネルギースペクトルを求めた。その結果、磁束の変化に伴ってバンドにギャップが生じフラクタル構造をもつことで知られるエネルギースペクトルを得ることができた。さらに、数値計算に適した手法を用いて実際にエネルギーギャップ中でチャーン数を数値的に求め量子化されていることを確認した。

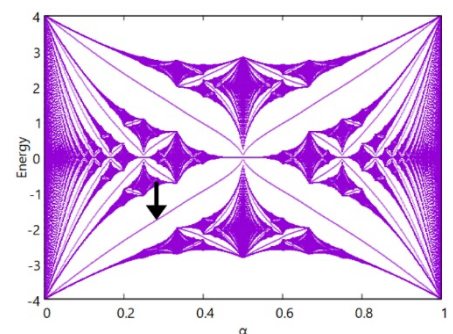


$\alpha = 0.2$ で最初のバンドギャップ中のチャーン数が+1となることを確認した。

## 9 磁場下の 2 次元電子系のエネルギースペクトルに対する不純物の効果

飯島 沙樹

本研究では、厳密対角化法を用いて 2 次元正方格子および六角格子模型において、それぞれのエネルギースペクトルを数値的に求めた。いずれの格子構造においてもフラクタル構造を持つことで知られる複雑なエネルギースペクトルが得られた。次に格子欠陥を導入してその効果を解析したところ、バンドギャップ内に新たなエネルギー準位が形成されることが確認できた。このギャップ中の準位における波動関数を調べたところ、格子欠陥に局在した状態であることを確認できた。また磁場が強いと、局在の度合いが強まる傾向があることが分かった。



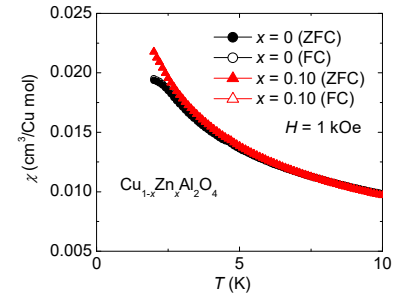
格子欠陥を加えた時のエネルギースペクトル(矢印で示した場所が新たに表れた局在状態)

## 磁気物性学教室

1 スピネル型酸化物  $\text{CuAl}_2\text{O}_4$  の非磁性元素置換効果

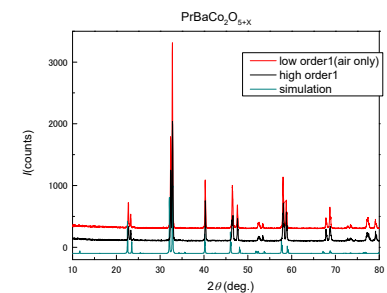
土田花穂

$\text{CuAl}_2\text{O}_4$  はヤーンテラー活性イオン  $\text{Cu}^{2+}$  を含んでいるが、ヤーンテラー効果を示さず、フラストレーションにより磁気転移が起こりにくい物質であることが知られている。また、 $\text{Cu}^{2+}$  はスピン軌道相互作用による特殊な磁性イオンである可能性が指摘されていることから注目されている。本実験では、非磁性元素 ( $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Rh}^{3+}$ ) 置換が  $\text{CuAl}_2\text{O}_4$  の構造、磁性にどのような影響を与えるのかを調べた。 $\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Al}_2\text{O}_4$  ( $x = 0-0.10$ ) ではスピネル構造を持つ試料を作成することができたが、 $\text{Zn}$  置換により、低温のスピングラス相は消失した。一方、 $\text{CuAl}_{2-x}\text{Rh}_x\text{O}_4$  ( $x = 0.20$ ) の単相の試料を作成することが出来なかった。

 $\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Al}_2\text{O}_4$  の磁化の温度依存2 A サイト秩序度が  $\text{PrBaCo}_2\text{O}_{5+x}$  の酸素欠損構造と磁気特性に与える効果

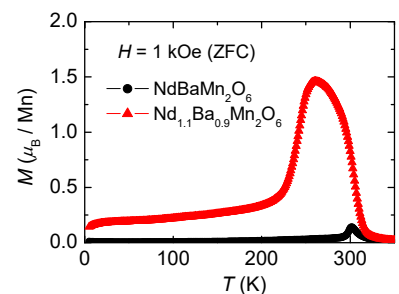
三枝柳輝

$\text{RBaCo}_2\text{O}_{5+x}$  ( $R = \text{希土類}$ ) は A サイト元素と酸素欠損が規則配列したペロブスカイト型構造を持っており、酸素量  $x$  の違いによりスピン状態転移や金属-絶縁体転移などの興味深い物性を示す。本研究では、A サイト秩序度の違う  $\text{PrBaCo}_2\text{O}_{5+x}$  を作成し、構造、磁気特性の違いについて調べた。X 線回折測定の結果、A サイト秩序度の高い試料は結晶構造の対称性が低く (斜方晶構造)、A サイト秩序度の低い試料は結晶構造の対称性が高い (正方晶構造) ことが分かった。この結果は、A サイト秩序度の多少の変化でも、酸素欠損の規則構造に大きく影響することを示している。

 $\text{PrBaCo}_2\text{O}_{5+x}$  の粉末 X 線回折パターン3 秩序型  $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$  の A サイトの置換及び欠損効果

高嶋裕生

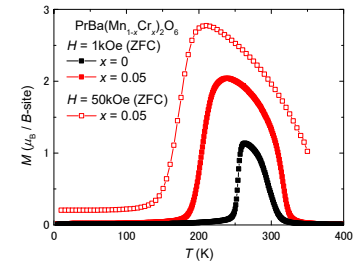
A サイト秩序型 Mn 酸化物  $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$  は室温で超巨大磁気抵抗 (CMR) 効果が期待できる物質である。しかし、電荷・軌道秩序絶縁体相 (CO/OOI 相) は外部磁場に対して非常に安定なため、CMR 効果が発現しない。CMR 効果を発現させるためには、化学置換 (電子ドープ) などを利用し、CO/OOI 相を磁場に対して壊れやすい状態にする必要がある。本研究では Ba サイトの Nd 置換 (電子ドープ) および A サイト元素 (Nd と Ba) の欠損による構造的乱れが  $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$  の磁性に与える効果について調べた。 $(\text{Nd}_{1.1}\text{Ba}_{0.9})_x\text{Mn}_2\text{O}_6$  ( $x = 1, 0.95, 0.91$ ) の単相試料の作成には至らなかった。しかし、磁化測定において磁場誘起の CO/OOI-FM 転移が観測された。

 $\text{Nd}_{1.1}\text{Ba}_{0.9}\text{Mn}_2\text{O}_6$  の磁化の温度依存性

#### 4 A サイト秩序型 PrBaMn<sub>2</sub>O<sub>6</sub> の化学置換効果

諸岡夏輝

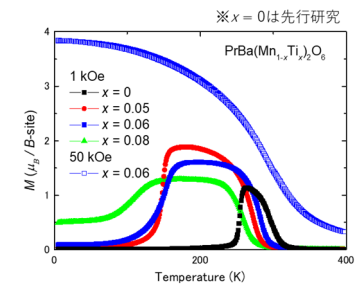
RBaMn<sub>2</sub>O<sub>6</sub> ( $R$  は希土類) は室温で超巨大磁気抵抗効果の発現が期待される物質である。本研究では A 型反強磁性状態を基底状態に持つ PrBaMn<sub>2</sub>O<sub>6</sub> の Ba サイトの Pr 置換および Mn サイトの Cr 置換が磁性に与える影響を調べた。Pr 置換においては単相試料が得られなかった。一方、Cr は 5% まで置換可能であった。Cr 置換により PrBaMn<sub>2</sub>O<sub>6</sub> の強磁性金属転移温度は上昇し、A 型反強磁性転移温度は低下した。先行研究では Cr5% 置換試料は磁場誘起の A 型反強磁性-強磁性金属転移を示したが、本研究で作成した Cr5% 置換試料は磁場誘起相転移を示さなかった。この結果は A サイト秩序度の違いが原因であると考えられる。

PrBa(Mn<sub>1-x</sub>Cr<sub>x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>6</sub> の磁化の温度依存性

#### 5 秩序型ペロブスカイト酸化物 RBaMn<sub>2</sub>O<sub>6</sub> ( $R = \text{Pr, Sm}$ ) の Ti 置換効果

遠藤哲実

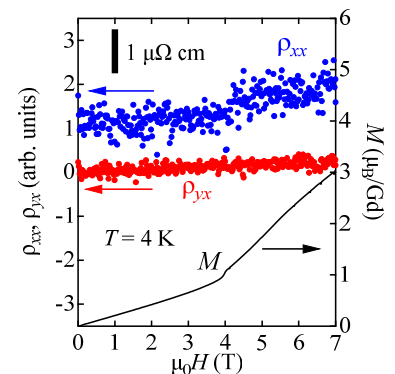
RBaMn<sub>2</sub>O<sub>6</sub> ( $R =$  希土類) は室温付近に強磁性金属 (FM) 相、電荷・軌道秩序 (COOI) 相、A 型反強磁性 (AF (A)) 相が形成する多重臨界点を持つことから、室温 CMR 効果の発現が期待されている。本研究では、多重臨界点に近い RBaMn<sub>2</sub>O<sub>6</sub> ( $R = \text{Pr, Sm}$ ) の Ti 置換が磁気特性に与える効果を調べた。 $R = \text{Pr, Sm}$  それぞれの基底状態は AF(A) 相、COOI 相である。Ti 置換の結果、PrBa(Mn<sub>1-x</sub>Ti<sub>x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>6</sub> では AF (A) 相が FM 相よりも強く抑制されるため、 $x = 0.06$  のとき、磁場誘起 AF(A)-FM 転移が起こることが分かった。また SmBa(Mn<sub>1-x</sub>Ti<sub>x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>6</sub> では、Ti 置換により FM 相が COOI 相よりも強く抑制される結果、磁場誘起の COOI-FM 転移は確認できなかった。

PrBa(Mn<sub>1-x</sub>Ti<sub>x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>6</sub> の磁化の温度依存性

#### 6 ThCr<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> 型 GdNi<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> における磁性及び輸送特性

杉野 陸

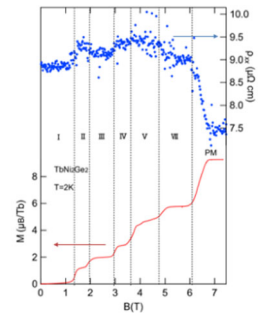
ThCr<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> 型希土類金属間化合物は、RKKY 相互作用により電子構造と磁性が密接に関係しており、電子輸送係数の磁場応答が興味深い系である。本研究では結晶場効果のない磁性希土類イオン Gd<sup>3+</sup> を有する GdNi<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> を対象とし、金属フラックス法で単結晶試料を育成すると共に、磁化と電気伝導特性を測定した。その結果、温度変化に伴う磁性転移においてキャリアのスピンス散乱抑制に伴う電気抵抗率の異常が観測された。その一方で、磁場誘起相転移に伴う電気伝導性の異常は観測されず、本物質では電子構造の再構築やスピンス散乱の劇的な変化を伴う磁気構造の変化が磁場により誘起されない事が明らかとなった。

GdNi<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> の  $T = 4 \text{ K}$  における磁化、電気抵抗率及びホール抵抗率

## 7 ThCr<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> 型希土類反強磁性体 TbNi<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> の輸送特性

山口 溪太

希土類反強磁性体 TbNi<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> は、磁場印加により複数のメタ磁性転移を示すことが知られており、磁気秩序と電子輸送特性の強い結合が期待される。本研究では、単結晶試料を用いて磁化測定および電気抵抗率・ホール抵抗率測定を行い、磁場誘起磁気相と輸送特性の関係を調べた。その結果、低温域において複数のメタ磁性転移に対応した磁気相の出現と、それに伴う抵抗率の顕著な変化が観測された。これらの結果から、Tb の局在 4f 磁気モーメントの配列変化が伝導電子の散乱過程に強く影響していることが示唆され、磁気秩序と電子輸送の結合の重要性が明らかとなった。

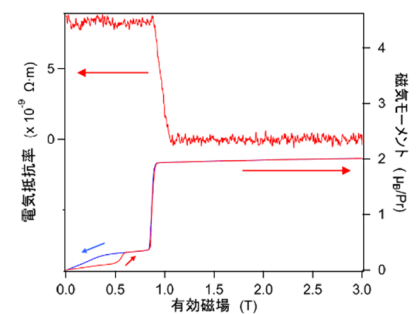


$T = 2 \text{ K}$  における磁化・抵抗率の磁束密度依存性

## 8 LaCrSb<sub>3</sub> 型 RV<sub>2</sub>Sb<sub>3</sub> (R = Pr, Nd, Gd) の磁気輸送特性

荒木 貴義

局在磁気モーメントを担う希土類イオンと遍歴電子を供する典型金属イオン、及び一般に電子相関効果の強い遷移金属イオンを併せ持つ層状希土類金属間化合物 RV<sub>2</sub>Sb<sub>3</sub> (R = Pr, Nd, Gd) の磁化測定及び輸送係数の測定を磁場中で行った。その結果、反強磁性秩序相から強磁性秩序相への転移に伴い、電気抵抗率が急峻な減少を示す事が明らかとなった。これは、反強磁性秩序相におけるスピン配列自由度により磁気秩序の不規則性が増大し、キャリア散乱時間が抑えられる為であると考えられる。



PrVSb<sub>3</sub> における  $T = 2 \text{ K}$  での電気抵抗率及び磁化と有効磁場の関係

## 9 ZrCuSi<sub>2</sub> 型 LaAgBi<sub>2</sub> の電子物性

鈴木 世那

ZrCuSi<sub>2</sub> 型 LaAgBi<sub>2</sub> は、Bi 正方格子層、LaBi 層、Ag 正方格子層が積層した構造を有する層状化合物であり、Bi 正方格子層上における  $p$  軌道の存在及びノンシンモルフィックな結晶対称性により線形分散した電子バンドの交差やブリルアンゾーン端におけるバンドの縮退といった特徴的な電子バンド構造を有する事が知られており、これらに起因した固有の電子物性の解明に興味を持たれている系である。本研究では、金属フラックス法により LaAgBi<sub>2</sub> の単結晶試料を育成し、磁化及び電気抵抗率測定を行った。その結果得られた低温・磁場下における電子物性について報告し、電子バンド構造との関係の観点から議論する。

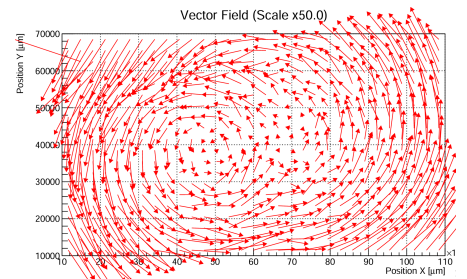
## 素粒子物理学教室

## 1 コンパクトエマルジョンスペクトロメータの測定精度評価の改善

山田純大

Search for Hidden Particles(SHiP)実験への応用を目指している、Compact Emulsion Spectrometer(CES)は磁場中におくことで荷電粒子の運動量と電荷を識別し、タウニュートリノと反タウニュートリノの判別を目的としている。CES の測定精度を評価するため、原子核乾板を二枚重ねた Doublet を用意し、位置関係の再構成を行う。現在の飛跡の再構成は不完全であり位置差分布に二つのピークがみられ、アライメント精度の不足が課題となっていた。

本研究では、この精度悪化の要因をアライメント時における回転中心の不一致であると仮定し、解析データから真の回転中心を特定して補正を行う新たな手法を開発し、測定精度の向上を目指している。

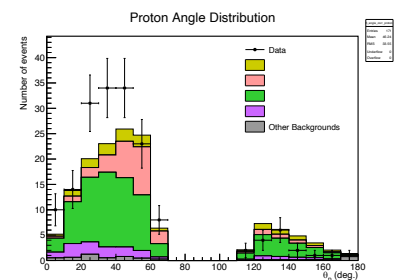


2020 年度 doublet の位置差ベクトルマップ

## 2 鉄標的によるニュートリノ・反ニュートリノ原子核反応の比較解析

加藤 虎之助

ニュートリノ振動の精密測定には、数 GeV エネルギー領域におけるニュートリノ原子核反応が用いられるが、理解が不十分であるので、課題となっている。本研究においては sub- $\mu\text{m}$  の分解能と広い角度範囲をカバーできる原子核乾板を用いた NINJA 実験 (Run6) のデータを使用して、鉄標的におけるニュートリノモードおよび反ニュートリノモードの原子核反応の解析を行った。陽子の角度分布、運動量分布の測定結果がモンテカルロシミュレーションのデータと一致するか確かめた。また陽子の角度分布をそれぞれのビームモードで比較した。



ニュートリノビーム 陽子放出角度分布

### 3 低感度原子核乾板によるエネルギー損失能を用いた陽子線イメージングの新技术開発

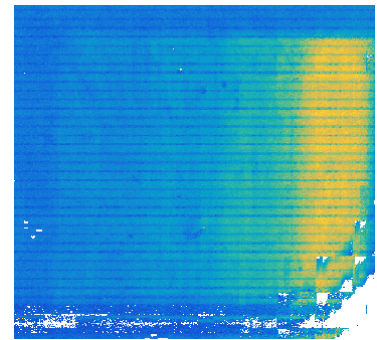
原愛梨菜

原子核乾板は、サブミクロンスケールの分解能を持つ検出器であり、イメージングにおいてはラジオグラフィ法で多く利用されている。

本研究では、原子核乾板の分解能を活かした新しい陽子線イメージング手法の原理実証を目的とする。

あらかじめ感度を評価し、その評価を用いて電離損失を推定し、さらにベータプロットの式から物質の平均密度を推定する手法を検討した。

未増感原子核乾板の感度が高電離粒子の飛跡の測定に有効であること、飛跡情報を損なわずにイメージング手法に適用可能であるということが明らかになった。



陽子線照射によるイメージング画像

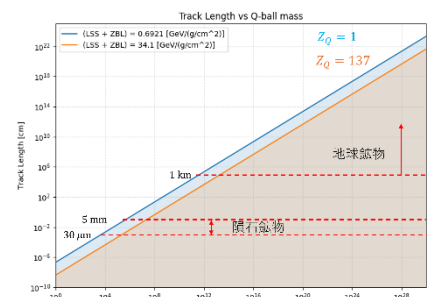
### 4 鉱物飛跡検出器による Q-ball 探索に向けた阻止能とトラック形成機構に関する考察

齊京 一成

Q-ball は global な U(1)対称性を持つ複素スカラー場理論に現れる non-topological solitons のことであり、バリオン数生成や暗黒物質などの未解決問題と関連している可能性があるため盛んに議論が行われている。

本研究では、Charged Q-ball と呼ばれる電荷をもつような Q-ball が暗黒物質の一部を構成する可能性に着目し、低速の荷電粒子に対する阻止能の理論計算に基づき Charged Q-ball の質量下限の導出を行った。

また、鉱物を用いた飛跡検出器が人工検出器では検出が困難である超重未知粒子探索に有効であり、本研究で得られた質量に対する制限は SKYLAB 実験による既存の排除領域をさらに拡張し得ることを示した。



Charged Q-ball の質量下限と鉱物による探索可能領域

### 5 バリオトラックを用いた低速重イオンに対する飛跡検出効率の評価

上杉俊介

本研究では低エネルギーXe イオンのイオンモニターとしてバリオトラックを使用した。バリオトラックは固体飛跡検出器としてバックグラウンドが少なく安定しており、エッチング後の透明性に優れているという特徴を持っている。

照射した Xe イオンの線量を測定するために水酸化ナトリウム (NaOH)水溶液でエッチング処理を行い、飛跡を顕在化させた。その飛跡の数や大きさを計測し、エッチング処理の過程でどのようにピットが変化していくか観察していくとともに、照射されたビームにばらつきがあるのか調べる。

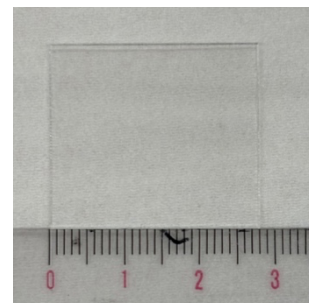


図:バリオトラック本体

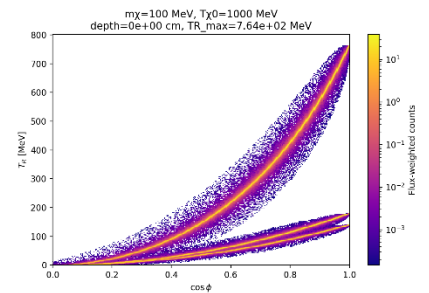
## 6 Multi-Component Boosted Dark Matter の運動学的シミュレーションと方向感度を持った検出実験に向けた考察

北見隼人

Boosted Dark Matter は銀河中心部から到来するという異方性を持っている。この異方性は従来のダークマターの予測とは大きく異なり、そのため、従来の検出実験の様に年間変動を検出するような検出器では Boosted Dark Matter は検出することができない。このようなモデルはダークマター検出実験において、より軽い質量領域の探索可能性を示唆しており、検出実験でどのように検出されるかを予測することは非常に重要である。

私は今回、Multi-Component Dark Matter モデルに基づいたサブ GeV 領域のダークマターが飛跡検出器で検出された際の分布についてのシミュレーションを行った。

岩盤を通過したダークマターは岩盤内の原子核とも衝突する可能性があり、また、ダークマターハローの形状の違いによって得られる分布がどれほど変化するか、これも合わせて比較を行った。



EinastoB モデルにおける原子核の反跳飛跡分布

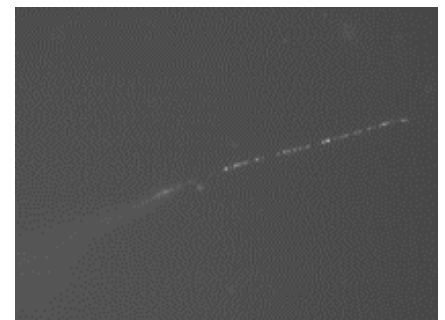
## 7 超微粒子原子核乾板における PQ 溶解物理現像液のチオシアン酸ナトリウム添加量の検討と感度評価

星名 拓海

本研究は、超微粒子原子核乾板 (NIT) を用いた  $\text{MeV}/c^2$  領域の暗黒物質の直接探索における検出感度の向上を目的とする。

現在、NEWSdm 実験において新たに提案されている溶解物理現像液 GR-1 の処方を検討した。GR-1 においてハロゲン化銀の溶剤として機能するチオシアン酸ナトリウムの添加量は現像銀のサイズを決定する重要なパラメータである。そのため、チオシアン酸ナトリウムの添加量を  $0.501\text{g}$  から  $0\text{g}$  の間で変化させた 4 条件で感度の指標となる乾板内の飛跡中の銀粒子密度 (GrainDensity) を評価した。

解析の結果、添加量が  $0.05\text{g}$  の条件において GrainDensity が最大値を示す傾向が確認された。

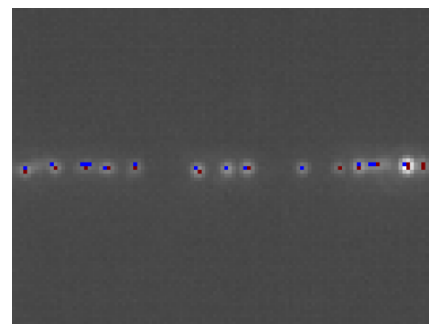


チオシアン酸ナトリウム  $0.501\text{g}$  における反跳陽子の飛跡

## 8 超微粒子原子核乾板におけるイオンビーム飛跡に対する画像処理解析の検討

芝田龍輝

原子核乾板は素粒子物理学分野の実験において利用される検出器であり、解析は光学顕微鏡等を用いて行われる。荷電粒子が乾板を通過すると重粒子線の飛跡は、粒子の通過時に弾き飛ばされた周囲の電子の飛跡であるデルタ線をまとうような形で見る事が出来る。本研究は OpenCV を用いた画像処理プログラムを作成し、乾板の画像データに使用して重粒子線の飛跡解析を試みた。解析には単に飛跡のみに注目するのではなく飛跡周囲の Fog やデルタ線も含めることで、重粒子に対してより精度のよい解析を行うことを試みた。



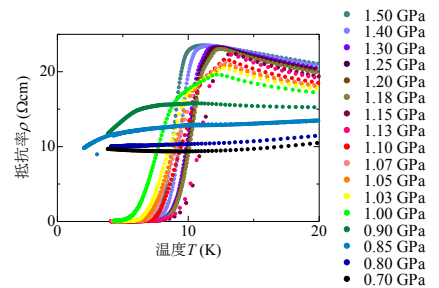
炭素イオンビーム飛跡の画像処理解析結果

## 物性物理学教室

1 有機導体 $\kappa$ -(Chp-TTP)<sub>2</sub>ClO<sub>4</sub>の圧力下超伝導特性

吉澤 華

有機導体は、分子設計や圧力によって電子状態を柔軟に制御でき、これまでに多様な電子相や超伝導を含む圧力誘起の相転移現象が発見されてきた。一方で、超伝導転移温度 $T_c$ は最高でも $T_c = 14.2$  Kであり、20年以上 $T_c$ が10 Kを超える物質は発見されていなかった。ところが昨年、新規分子 Chp-TTP 分子を用いた $\kappa$ -(Chp-TTP)<sub>2</sub>ClO<sub>4</sub>の圧力下で、オンセットでだが $T_c = 10.5$  Kの超伝導が発見された。加圧を工夫することで、さらに $T_c$ が上がることを期待されることから、本研究では加圧方法を工夫して $T_c$ の上昇を目指し、さらに超伝導特性を調べた。結果、1.15 GPaの圧力下で $T_c$ が約13 Kまで上昇することに成功した。

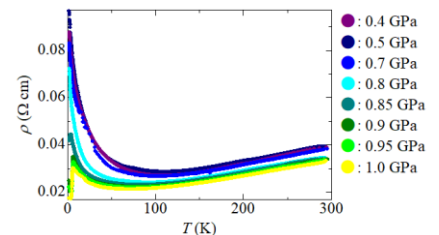


ゼロ磁場における圧力下抵抗率の温度依存性

## 2 Chp-TTP分子からなる有機導体における超伝導の性質の解明

高野 輝一

本研究では、愛媛大学で開発されたChp-TTP分子からなる有機導体における超伝導の性質の解明と新規超伝導体の発見を主な目標として、 $\kappa$ -(Chp-TTP)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub>と $\kappa$ -(Chp-TTP)<sub>2</sub>AsF<sub>6</sub>を対象に、圧力下における輸送特性を詳細に調べた。 $\kappa$ -(Chp-TTP)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub>は既に超伝導体であることが確認されている $\kappa$ -(Chp-TTP)<sub>2</sub>AsF<sub>6</sub>と同型の結晶構造であり、超伝導体であることが期待されている。その結果、 $\kappa$ -(Chp-TTP)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub>は0.9 GPa以上の圧力下で新規の超伝導現象が発見された。また、 $\kappa$ -(Chp-TTP)<sub>2</sub>AsF<sub>6</sub>は層間コヒーレンス長と層間距離との比較より、超伝導の転移後に2次元性が強い物質であると考えられる。

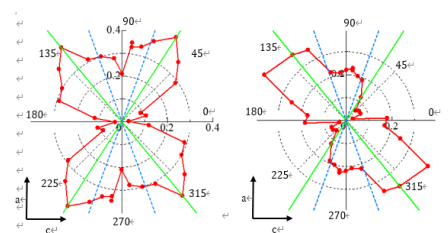


$\kappa$ -(Chp-TTP)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub>の抵抗率の温度依存性

3 冷却速度が有機超伝導体 $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Brの超伝導状態に与える効果

藤澤 諒介

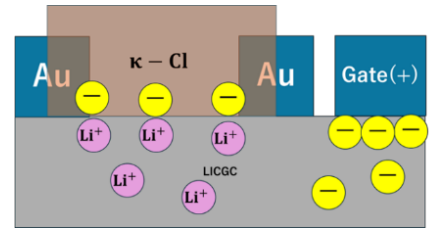
有機超伝導体 $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>系はモット転移近傍に位置し、強相関、低次元性、フラストレーション、そして量子臨界性といった観点から注目を集めている。その中でも、 $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Brは冷却速度によって電子相関や反強磁性揺らぎが変化することが知られており、反強磁性揺らぎと超伝導の競合・協奏を検証できる貴重な系である。本研究では、冷却速度がこの系の電子状態および超伝導状態に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、「ホール効果測定による反強磁性揺らぎ」、「層間磁気抵抗測定による超伝導対称性」を調べた。その結果、反強磁性揺らぎに起因するホール効果の異常を検出し、急冷によってその効果が顕著に増強されることを見出した。さらに、超伝導対称性が冷却速度に応じて変化する可能性が示唆された。



#### 4 有機導体を用いた固体電解質電気二重層トランジスタ (EDLT) の作製

廣岡幸汰

本研究では、有機モット絶縁体 $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Cl (以下 $\kappa$ -Cl)をチャンネルとし、固体電解質 LICGC を用いた電気二重層トランジスタ(EDLT)を作製した。ゲート電圧の印加により $\kappa$ -Clの抵抗は減少し、固体電解質においてもキャリア注入が可能であることを確認した。抵抗変化は正負いずれのゲート電圧でも観測され、低温では固体電解質中のイオン伝導度低下により効果が減少した。また、ホール効果測定から、電子注入条件下にもかかわらず主要キャリアは正孔であることが明らかとなり、ゲート電圧によってモット転移を引き起こすことに成功した。

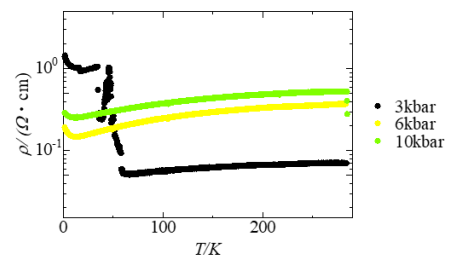


EDLT デバイスの模式図  
(ゲート電圧を+に印加したときの図)

#### 5 キラルな分子を含む有機導体 $\kappa$ -(DM-BEDT-STF)<sub>2</sub>ClO<sub>4</sub>の圧力下電気抵抗測定

土川 幸之助

$\kappa$ -(DM-BEDT-STF)<sub>2</sub>ClO<sub>4</sub>はキラルな分子が電気伝導を担う数少ない有機導体のひとつであり、電気磁気キラル異方性(電流・磁場方向によって電気抵抗が変化する現象)などのキラリティに起因した輸送現象が見られる可能性がある。本研究では $\kappa$ -(DM-BEDT-STF)<sub>2</sub>ClO<sub>4</sub>の基本的な輸送特性を調べるため、ラセミ体およびS体の圧力下における電気抵抗率の温度依存性、および磁気抵抗を測定した。その結果、3kbar から 10kbar までの圧力下で電気抵抗率は金属的にふるまい、低温では乱れに起因すると考えられる負の磁気抵抗が測定された。低圧力下では試料のクラックによる電気抵抗のとびが見られたが、高圧下ではそれが抑えられ、安定した輸送特性測定が行えることがわかった。

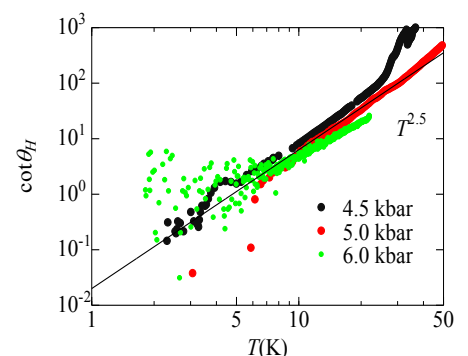


ラセミ体における圧力下の  
電気抵抗率の温度依存性

#### 6 分子性導体 EtMe<sub>3</sub>P[Pd(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>におけるモット転移近傍とVBS相に隣接する金属状態の輸送特性

大堀 颯太

分子性導体 EtMe<sub>3</sub>P[Pd(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>は、圧力によりモット絶縁相、VBS相、金属相、超伝導相を示す典型的な強相関係である。本研究では、圧力下電気抵抗率およびホール効果測定を行い、モット転移およびVBS相近傍金属の輸送特性を調べた。モット絶縁相では、有効キャリア密度が温度低下とともに著しく減少し、抵抗率増大の主因であることが明らかとなった一方金属化を伴うモット転移では易動度が秩序変数的役割を担うことが示唆された。さらにVBS相近傍金属状態では、抵抗率がフェルミ液体的挙動を示す一方、ホール係数及びホール角に非自明な冪則が現れ、縦・横輸送の指数分離が観測された。これらの結果は、VBS由来の量子揺らぎが輸送特性に特異な影響を及ぼすことを示している。

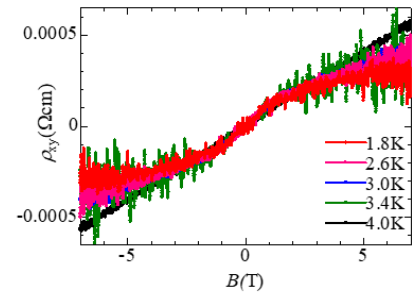


5 T の静磁場中の圧力下における  
 $\cot \theta_H$  の温度依存性

## 7 分子性導体(Me-3, 5-DIP) [Ni(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>における異常ホール効果

鈴木 大二

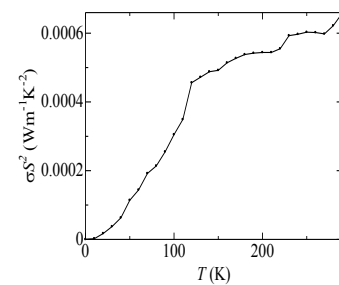
分子性導体(Me-3, 5-DIP) [Ni(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>は、金属層とMott絶縁化による局在スピンを有する層が単一結晶内に共存するハイブリッド多層系である。本研究では、この物質を題材に、モット絶縁層に存在する局在スピンと金属層を運動する遍歴電子が交換相互作用を介して結びついていることが異常ホール効果をするかを誘起検証するため、ホール効果測定を実施した。その結果、磁化率の温度変化と類似したキュリー・ワイス的な異常ホール効果を観測した。ホール係数の温度変化から推定されるワイス温度は約5Kであり、磁化率の結果と良い一致を示した。さらに低温領域においては、ホール抵抗が階段関数的な磁場依存性を示す異常ホール効果の特徴的な挙動を観測した。



## 8 Bi<sub>13</sub>Pt<sub>3</sub>I<sub>7</sub>のゼーベック係数と熱電変換出力因子について

金子 大輝

層状物質 Bi<sub>13</sub>Pt<sub>3</sub>I<sub>7</sub>はその結晶構造とバンド構造から擬2次元的な電子構造を持つことが知られているが、輸送特性に関する詳細な報告はされていない。一般的に低次元物質では電子の閉じ込め効果によりバルクよりも高い熱電性能が期待されるため、本研究では Bi<sub>13</sub>Pt<sub>3</sub>I<sub>7</sub>の電気抵抗率とゼーベック係数を測定し、熱電変換で取り出せる電力の大きさを示す熱電変換出力因子の検証を行った。試料内の温度差の測定には大きな誤差が伴うため、熱電対を使う方法と試料自身を温度計として使う2種類の方法を用いて測定を行った結果、どちらの方法を用いた場合でも、高い熱電性能が報告されている類縁物質 Bi<sub>14</sub>Rh<sub>3</sub>I<sub>9</sub>よりも高い出力因子(>600 μW m<sup>-1</sup> K<sup>-2</sup>)を持つことが分かった。

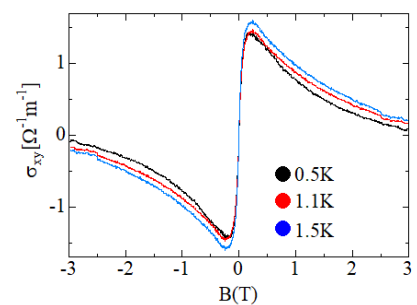


熱電出力因子の温度依存性

## 9 3次元有機ディラック半金属における異常ホール効果

深澤紀裕

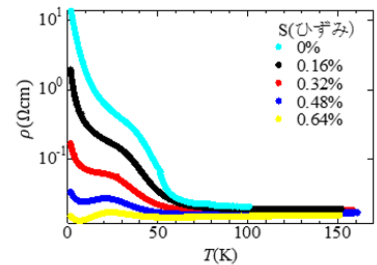
高圧下にある $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub>でカイラル対称性が敗れた3次元ディラック半金属が低温で実現していることが分かった。このような輸送特性には、ベリー曲率が重要な役割を担っているが、この効果が輸送特性にもたらす現象にゼロ磁場近傍で階段状に変化する異常ホール効果がある。一方で、この物質は電子間相互作用を強くすると電荷秩序絶縁体へ量子相転移する。本研究では、異常ホール効果の検出を通じてベリー曲率の電子相関効果を調べた。結果、系が量子相転移に向かい、異常ホール伝導度は急激に減少した。ベリー曲率が急激に弱くなることを示唆する結果である。一方、高圧下では $\tan\theta_{AHE} > 0.1$ の大きな異常ホール角 $\theta_{AHE}$ を示すことが分かった。



10  $\alpha$ -(BETS)<sub>2</sub>I<sub>3</sub>における曲げひずみ効果

永山 翔太

有機導体  $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub> は初めて発見されたバルクのディラック電子系であり、また電子間相互作用の強い系であることから注目されてきた。ディラック電子系の実現には 1.5 GPa 以上の圧力が必要なため、これまで圧力セル中でしか実験を行うことができなかったが、薄い試料を貼り付けた基板を湾曲させることで圧力セルなしでディラック電子系を実現できることが報告された。これにより分光などの圧力セル中では難しい実験の実現が期待される。本研究では、同じ方法を用いて  $\alpha$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub> より低い圧力でディラック電子状態に到達すると報告されている  $\alpha$ -(BETS)<sub>2</sub>I<sub>3</sub> を用いて曲げひずみの実験を行った。その結果、0.64% のひずみでディラック電子状態にみられる磁気抵抗や量子ホール効果を観測した。このことから  $\alpha$ -(BETS)<sub>2</sub>I<sub>3</sub> でも曲げひずみによって、異方的に圧力をかけることにより、圧力媒体なしでのディラック電子状態が実現できたと考えられる。



## 宇宙物理学教室

### 1 ブラックホール形成に関する理論的考察

松尾 知佳

ブラックホールはアインシュタインの一般相対論が予言する、光も抜け出すことが出来ないという興味深い天体である。そこで、本論文ではブラックホールの時空構造と形成過程について調べることを目的とする。その結果、(1) 一般にブラックホールは宇宙に空いた穴のようにイメージされるが、実際には、時空の大域的な因果構造であること、(2) 特異的な状況ではなく一般的な状況で形成されることが分かった。また、現実的な形成過程についても調べ、重い恒星が電子や中性子の縮退圧によってその自己重力が支えきれなくなり、重力崩壊が起こした結果形成されることが分かった。

### 2 ワームホール時空における測地線方程式の数値解析

浅賀 友里

ワームホールとは、時空の離れた2点を結ぶトンネルのようなものであり、アインシュタイン方程式の解として得られる。ただし、負のエネルギーの仮定が必要となるため、現実には存在しないと考えられてきた。しかし近年では物質が通過できるようなワームホールが存在する可能性を示す研究が報告されている。そこで本研究ではワームホールとブラックホールでの粒子の軌道の違いを調べ、ワームホールが存在するかどうかを検証するために、任意の球対称時空における測地線方程式を解くコードを開発した。極値で円軌道が現れること、閉じた楕円軌道が存在しないことを確認した。ブラックホールの場合の有効ポテンシャルと粒子の軌道の関係を調べ、これをワームホールの場合にも適用し、粒子の軌道を調べた。

### 3 スカラー場インフレーションと量子ゆらぎ生成

両田 滉太郎

宇宙が高温・高密度の状態から始まったとするビッグバン宇宙論では、宇宙初期に因果関係を持たせることができない、初期の宇宙が高い精度で平坦であることを説明できないという理論的問題を抱えていた。それらの問題を解決するために提唱されたのがインフレーション理論である。本研究では、スカラー場によって引き起こされるインフレーションの機構、およびインフレーション期に生成される量子ゆらぎの進化について調べた。その結果、スカラー場によるインフレーションでは、量子ゆらぎがインフレーション終了後も保持され、観測量と結びつくことが分かった。観測と整合的なインフレーションモデルを調べたところ、 $f(R)$  重力理論に基づく  $R^2$  インフレーションに相当するモデルのみが観測と整合的であった。

#### 4 JWST により観測された遠方銀河の物理量測定における系統誤差

石川 慎之助

本研究では、ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡(JWST)によって観測された最遠方銀河の1つである JADES-GS-z14-0 を対象とし、Python ライブラリである bagpipes を用いたスペクトルエネルギー分布解析を行った。6種の星形成史と4種のダスト減光モデルを組み合わせた計24通りのモデルそれぞれについて解析を実施し、測定される物理量の系統誤差およびモデル依存性を定量的に評価した。その結果、良好な適合度を示すモデル間でも推定物理量に統計誤差よりも大きな系統誤差が生じ得ることが明らかとなり、スペクトルエネルギー分布解析の結果の解釈には十分な注意を要することが示された。

#### 5 JWST を用いた遠方銀河の合成スペクトル解析

高橋 蓮

近年、James Webb Space Telescope (JWST) の本格的な運用によって、これまで観測が困難であった最遠方の銀河が次々と検出され、それらは宇宙初期の銀河形成に対する貴重な情報源となっている。本研究では、このような遠方銀河の平均的な性質や微弱な輝線成分を明らかにすることを目的として、JWST の公開データから赤方偏移  $z$  が 10 を超える銀河 24 天体を選定し、合成スペクトル解析を行った。その結果、[O II]、[Ne III]、 $H\beta$  など主要な輝線に対応するピークが明瞭に確認され、さらに赤方偏移が高い天体ほど [Ne III]/[O II] の輝線比が増加する傾向が示唆された。

#### 6 テラヘルツ強度干渉計の検出器評価と光学実験に向けた検討

井上 翔太郎

テラヘルツ強度干渉計の実証に向け、SIS (超伝導体-絶縁体-超伝導体) 光子検出器の光学特性を評価し、成立要件を整理した。素子デザインの選定と反射防止膜の付与により、検出器の光学効率は 0.017% から 5.8% へ向上した。実験室の黒体光源 (フラックス密度  $\sim 10^8$  Jy 相当) を天体信号に見立てると、遅延時間を 1 ps 以上の精度で決定するために必要な積分時間は 0.1 s 程度と見積もられる。したがって、強度干渉計による画像合成実験は可能である。南極での観測においても、受信帯域幅の拡大により現実的な積分時間で遅延時間が決定できる見通しを得た。

## 7 テラヘルツ強度干渉計実現に向けた反射防止膜の製作と SIS 素子の性能評価

清野 哲三朗

画像合成可能なテラヘルツ強度干渉計の開発に向けてレンズの反射防止膜や回路の開発に取り組むとともに、観測に用いる SIS（超伝導体-絶縁体-超伝導体）光子検出器の性能評価を行った。反射防止膜に関しては検出器に搭載した際の透過率のシミュレーションを行い、厚さ  $50\ \mu\text{m}$ ,  $75\ \mu\text{m}$ ,  $188\ \mu\text{m}$  の反射防止膜を作成し検出器に取り付けた。検出器の性能評価では、温度の異なる黒体を観測した時に出力される I-V 特性の変化から光電流の変化量を求めた。またフーリエ分光器を用いて SIS 素子ごとのスペクトルを求めることで光学特性を明らかにした。実験で求めた光電流変化量と光学特性から量子効率を導出したところ、デザインの異なる 3 素子のうち 2 素子に関して、強度相関実証に十分な感度を持つことが分かった。